



**Некоммерческое
акционерное
общество**

**АЛМАТИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ И
СВЯЗИ**

Кафедра теоретической
электротехники

**АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ.
ТЕОРИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ**

Методические указания и задания по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности
5В081200 – Энергообеспечение сельского хозяйства

Алматы 2017

СОСТАВИТЕЛИ: Л.П. Болдырева, Г.К. Смагулова. Анализ электрических цепей и электрического поля. Теория нелинейных цепей и электрического поля. Методические указания и задания по выполнению лабораторных работ для студентов специальности 5В081200 – Энергообеспечение сельского хозяйства. - Алматы: АУЭС, 2017 - 36 с.

Методическая разработка содержит основные положения по подготовке, выполнению, анализу результатов и оформлению лабораторных работ по дисциплине АЭЦЭП, ТНЦЭП.

Каждая лабораторная работа включает следующие подразделы: цель работы, подготовка к работе, порядок выполнения работы, оформление и анализ экспериментальных результатов и выводы о проделанной работе.

Методическая разработка предназначена для студентов, обучающихся в бакалавриате по специальности 5В081200.

Ил. 18, табл. 12, библиограф - 6 назв.

Рецензент: доцент Б.К.Курпенов

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2017 г.

Введение

Для повышения качества подготовки специалистов, формирования у студентов творческого мышления и инженерных навыков большое значение имеют лабораторные занятия.

Данная методическая разработка содержит описание обязательных лабораторных работ по АЭЦЭП для студентов специальности «Электроэнергетика». Лабораторные задания представляют собой комплекс работ экспериментального и расчетного характера по исследованию линейных электрических цепей постоянного и однофазного синусоидального токов и трехфазных цепей. Все лабораторные работы выполняются фронтальным методом после того, как материал данной темы изложен на лекции.

Практическая реализация лабораторных занятий на кафедре ТЭ обеспечивается универсальными учебно-исследовательскими лабораторными стендами УИЛС – 2.

Стенд УИЛС-2 представляет собой стол, на котором закреплен пульт, состоящий из корпусов активных и пассивных блоков, соединенных наборным полем. В корпусах установлены соответствующие блоки. В состав стенда входят 29 наборных элементов и соединительные провода со штекерами.

Пульт представляет собой металлический корпус активных блоков, содержащий блок постоянного напряжения БПН, блок переменного напряжения БПрН, блок трехфазного напряжения БТН, корпус пассивных блоков, содержащий блок переменного сопротивления БПС, блок переменной индуктивности БПИ, блок переменной емкости БПЕ, соединенных между собой наборным полем НП.

БПН содержит:

- регулируемый источник постоянного стабилизированного напряжения с напряжением на выходе от 0 до 25 В;
- нерегулируемый источник постоянного напряжения с напряжением на выходе около 20 В;
- «электронный ключ», применяемый для исследования переходных процессов.

Оба источника напряжения снабжены схемой защиты от короткого замыкания и перегрузок. Ток срабатывания защиты $I_{CP} = I A$.

БПрН представляет собой источник однофазного переменного напряжения регулируемой частоты синусоидальной, прямоугольной и треугольной формы.

Схема снабжена электронной защитой от короткого замыкания и перегрузок. Ток срабатывания защиты $I_{CP} = I A$.

БТН является источником трехфазного напряжения промышленной частоты. Все фазы электрически не зависят друг от друга.

Каждая фаза снабжена электронной защитой от короткого замыкания и перегрузок. Ток срабатывания защиты $I_{CP} = I_A$.

БПС состоит из трех нерегулируемых резисторов R_1, R_2, R_3 и трех регулируемых схем резисторов R_4 . Регулирование сопротивления R_4 осуществляется ступенчато с помощью соответствующих переключателей.

БПИ состоит из трех нерегулируемых катушек индуктивности L_1, L_2, L_3 и трех регулируемых схем индуктивности L_4 . Регулирование индуктивности осуществляется ступенчато с помощью соответствующих переключателей.

БПЕ состоит из трех нерегулируемых конденсаторов C_1, C_2, C_3 и трех регулируемых емкостей C_4 . Регулирование емкости осуществляется ступенчато с помощью соответствующих переключателей.

На лицевых панелях блоков расположены органы сигнализации (индикаторы, лампы), органы управления (ручки переключателей, тумблеры, кнопки) и измерительные приборы.

НП представляет собой панель с 67 парами определенным образом соединенных гнезд, предназначенных для подключения и установки наборных элементов НЭ, представляющих собой элементы исследуемых цепей. НЭ выполнены в виде прозрачных пластмассовых коробочек, в торце которых имеется вилка, а внутри впаяны элементы электрических цепей.

Для включения активного блока тумблер СЕТЬ установить в положение ВКЛ, при этом загорится индикатор СЕТЬ.

Измерительные приборы БПН и БПрН предназначены для контроля величины тока и напряжения регулируемых источников напряжения. Регулирование осуществляется с помощью потенциометра.

Частота в БПрН регулируется переключателем ступенчато через 1 кГц и потенциометром плавно. Когда потенциометр ЧАСТОТА ПЛАВНО находится в крайнем правом положении, то частота выходного напряжения соответствует величине, указанной на переключателе ступенчатой регулировки с точностью $\pm 2\%$.

Величину напряжения на выходе каждой фазы БТН можно регулировать ступенчато с помощью переключателей от 1 до 9 В и от 0 до 30 В.

При возникновении короткого замыкания либо перегрузки (неправильно собрана схема) в блоках срабатывает электронная защита, при этом загораются индикаторы ЗАЩИТА. После устранения причин возникновения короткого замыкания либо исправления ошибки в набранной схеме необходимо, нажав кнопку ЗАЩИТА, вернуть схему блока в рабочее положение, при этом индикатор гаснет.

Порядок выполнения и правила оформления отчетов лабораторных работ

Задание на выполнение соответствующей лабораторной работы студент получает на предыдущем занятии (за 1-2 недели).

Каждый студент самостоятельно готовит отчет для выполнения лабораторной работы, знакомится с целью лабораторного задания, основными теоретическими положениями проводимого эксперимента.

Перед выполнением экспериментальной части студент проходит собеседование по вопросам подготовки, показывает преподавателю подготовленный отчет для выполнения лабораторной работы и получает допуск к работе.

После выполнения экспериментальной части, отчет дооформляется: проводится сравнение теории с экспериментом, строятся необходимые графики, проводится анализ результатов и делаются выводы по работе.

Отчет по лабораторной работе защищается каждым студентом на текущем или на следующем лабораторном занятии, или на консультации.

К выполнению следующей лабораторной работы допускается студент, выполнивший и защитивший предыдущую лабораторную работу.

Отчет содержит титульный лист и следующие разделы:

- цель работы;
- основные теоретические положения и ответы на вопросы подготовки;
- краткие сведения об эксперименте;
- принципиальная схема исследуемой цепи;
- расчетные формулы, вычисления, предполагаемые графики исследуемых электрических величин и режимов цепи;
- результаты исследования (таблицы, графики, числовые значения параметров и электрических величин);
- выводы.

Отчеты оформляются на листах белой или линованной бумаги формата А4 (210x297 мм), которые заполняются с одной стороны. В тексте, написанном четко и аккуратно пастой одного цвета, допускается применение только общепринятых обозначений или сокращений, расшифрованных при первом упоминании.

1 Лабораторная работа № 1. Переходные процессы в цепях первого порядка

Цель работы: получение навыков экспериментального исследования переходных процессов в цепи с одним накопителем энергии.

1.1 Подготовка к работе

Повторить раздел курса ТОЭ «Переходные процессы в цепях R-L, R-C». Письменно ответить на следующие вопросы:

- 1) Что такое переходные процессы и в результате чего они возникают? В каких цепях имеют место переходные процессы?
- 2) Записать законы коммутации.
- 3) Что такое переходный, принуждённый и свободный токи?
- 4) Каков физический смысл постоянной времени цепи? Чему равна постоянная времени цепи R-L, цепи R-C? Как экспериментально определить постоянную времени цепи?
- 5) Что называют коэффициентом затухания цепи?
- 6) Привести уравнения, по которым изменяются $u_C(t)$, $i_C(t)$ при коротком замыкании цепи R-C, начертить графики $u_C(t)$, $i_C(t)$.
- 7) Чему равна постоянная времени цепи (рисунок 1.2) после размыкания ключа?
- 8) Привести уравнения, по которым изменяются $u_L(t)$, $i_L(t)$ для цепи (рисунок 1.2) после размыкания ключа и начертить их графики.

1.2 Порядок выполнения работы

- 1.2.1 Собрать цепь (рисунок 1.1).
- 1.2.2 Установить значения $U_{вх}$, R и C согласно варианту (таблица 1.1), $R_1=100-300$ Ом.
- 1.2.3 На вход осциллографа подать напряжение с конденсатора.
- 1.2.4 Срисовать в масштабе полученную кривую $u_C(t)$.
- 1.2.5 На вход осциллографа подать напряжение с резистора, срисовать в масштабе полученную кривую $u_R(t)$.
- 1.2.6 Изменить согласно варианту один из параметров цепи (таблица 1.2), срисовать в масштабе новую кривую $u_C(t)$.
- 1.2.7 Собрать цепь (рисунок 1.2).
- 1.2.8 Установить значения $U_{вх}$, $L=L_1$ согласно варианту (таблица 1.3). Сопротивление $R_1=1\div 4$ Ом, $R_2=50\div 200$ Ом.
- 1.2.9 На вход осциллографа подать напряжение с резистора R_1 , срисовать в масштабе полученную кривую $u_{R1}(t)$, которая в соответствующем масштабе представляет собой кривую тока

$$i(t) \left(\text{м.к.} \quad i(t) = \frac{u_{R1}(t)}{R_1} \right).$$

1.2.10 На вход осциллографа подать напряжение с индуктивности.

1.2.11 Срисовать в масштабе полученную кривую $u_k(t)$ (если пренебречь активным сопротивлением катушки R_k , можно считать, что $u_k(t) = u_L(t)$).

1.2.12 Изменить согласно варианту индуктивность $L=L_2$ (таблица 1.3), срисовать в масштабе новую кривую $u_{R1}(t)$.

1.3 Оформление и анализ результатов работы

1.3.1 Рассчитать постоянную времени τ_{C1} и коэффициент затухания цепи α_{C1} для параметров цепи согласно заданному варианту (таблица 1.1) и τ_{C2} , α_{C2} согласно варианту (таблица 1.2).

1.3.2 По изображению кривой напряжения $u_C(t)$ определить постоянную времени τ_{C1} и коэффициент затухания цепи α_{C1} (пункт 1.2.4) и τ_{C2} , α_{C2} (пункт 1.2.6).

1.3.3 Рассчитать напряжение $u_C(t)$ на основе известных параметров цепи согласно заданному варианту (таблица 1.1).

1.3.4 Расчётную и экспериментальную зависимости $u_C(t)$ привести на одном графике.

1.3.5 Рассчитать постоянную времени τ_{L1} и коэффициент затухания α_{L1} цепи RL для параметров цепи, согласно заданному варианту и τ_{L2} , α_{L2} согласно варианту (таблица 1.3). Учтеть, что сопротивление цепи $R=R_1+R_2+R_k$, где R_k – активное сопротивление катушки индуктивности.

1.3.6 По изображению кривой для цепи RL определить постоянную времени τ_{L1} и коэффициент затухания α_{L1} (пункт 1.2.9) и τ_{L2} , α_{L2} (пункт 1.2.12).

1.3.7 Рассчитать ток $i(t)$ в цепи RL и напряжение $u_{R1}(t)$ на основе известных параметров цепи согласно заданному варианту (таблица 1.3).

1.3.8 Расчётную и экспериментальную кривые $u_{R1}(t)$ привести на одном графике.

1.3.9 Сделать выводы по проделанной работе: проанализировать влияние величины сопротивления R или ёмкости C на постоянную времени цепи τ и соответственно на скорость протекания переходного процесса; определить время разрядки конденсатора; проанализировать влияние величины индуктивности L на постоянную времени τ_L цепи RL и соответственно на скорость протекания переходного процесса.

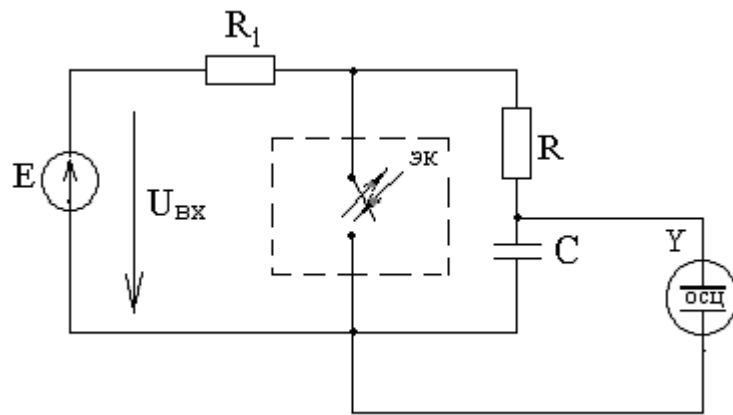


Рисунок 1.1 - Экспериментальная схема цепи RC

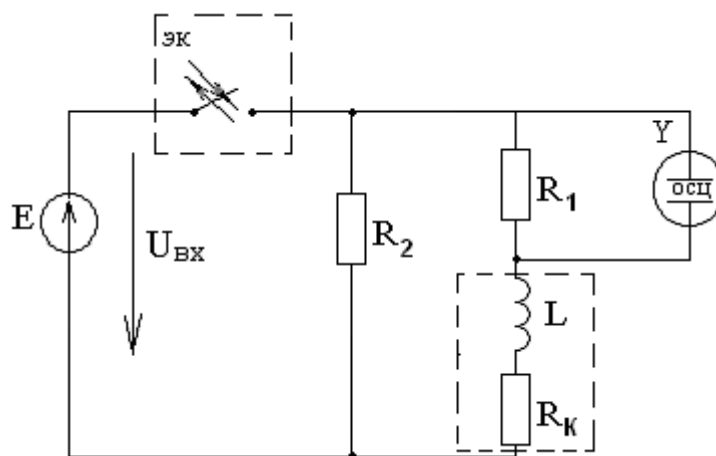


Рисунок 1.2 - Экспериментальная схема цепи RL

Таблица 1.1-Параметры цепи RC (вариант 1)

№ варианта	$U_{ВХ}, В$	$R, Ом$	$C, мкФ$
1	20	200	5
2	15	400	2
3	10	300	4
4	20	600	5
5	15	500	3

Таблица 1.2-Параметры цепи RC (вариант 2)

№ варианта	$U_{ВХ}, В$	$R, Ом$	$C, мкФ$
1	20	400	5
2	15	400	4
3	10	600	4
4	20	300	5
5	15	500	6

Таблица 1.3-Параметры цепи RL

№ варианта	$U_{вх}, В$	$L_1, мГн$	$L_2, мГн$
1	20	10	20
2	15	15	30
3	17	30	15
4	10	20	10
5	12	20	40

1.4 Методические указания

Масштаб по оси времени определяется из условия, что электронный ключ (ЭК) замыкается и размыкается с частотой:

$$f=50 \text{ Гц}$$

и с периодом:

$$T = \frac{1}{f} = 0,02 \text{ с}.$$

Постоянная времени τ_C определяется по экспериментальной кривой $u_C(t)$ для цепи RC (рисунок 1.3), где t_3 - время, в течение которого ЭК замкнут ($t_3 \approx 0,01 \text{ с}$).

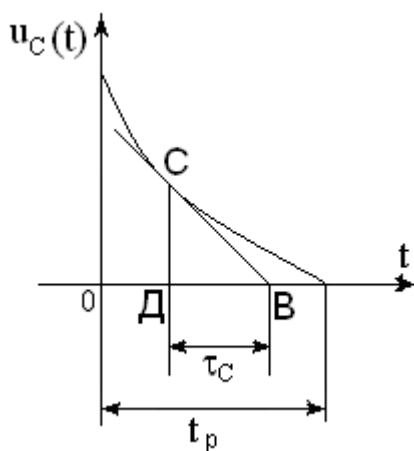


Рисунок 1.3 - Кривая $U_C(t)$

Постоянная времени τ_L определяется по экспериментальной кривой $u_{R1}(t)$ для цепи RL (рисунок 1.4), где t_p - время, в течение которого ЭК разомкнут ($t_p \approx 0,01 \text{ с}$).

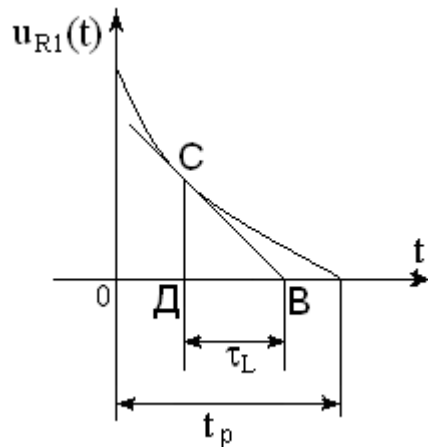


Рисунок 1.4 - Кривая $U_{R1}(t)$

2 Лабораторная работа № 2. Переходные процессы в цепи R-L-C

Цель работы: получение навыков экспериментального исследования аperiodического и колебательного разрядов конденсатора.

2.1 Подготовка к работе

Повторить раздел курса ТОЭ «Переходные процессы в цепи R-L-C».

Письменно ответить на следующие вопросы:

1) Записать уравнение по второму закону Кирхгофа для свободных составляющих напряжений цепи R-L-C и соответствующее ему характеристическое уравнение.

2) При каких корнях характеристического уравнения в цепи R-L-C возникает аperiodический разряд конденсатора? Написать уравнения для $u_C(t)$, $i(t)$, $u_L(t)$ при аperiodическом разряде конденсатора. Привести графики этих величин.

3) При каких корнях характеристического уравнения в цепи R-L-C возникает колебательный разряд конденсатора? Написать уравнения для $u_C(t)$, $i(t)$, $u_L(t)$ при колебательном разряде конденсатора. Привести графики этих величин.

4) Что такое логарифмический декремент колебания?

5) Как определить коэффициент затухания α и частоту собственных (свободных) колебаний $\omega_{св}$ расчётным и опытным путём (по графику)? Как эти величины зависят от R, L и C?

6) Что такое критическое сопротивление цепи R-L-C? Что такое критический режим цепи R-L-C?

2.2 Порядок выполнения работы

2.2.1 Собрать цепь (рисунок 2.1).

2.2.2 Установить значения R , L и C согласно варианту (таблица 2.1). Измерить сопротивление катушки R_K . Напряжение на входе $U_{вх}$ установить порядка 20-30 В, $R_1=50-300$ Ом.

2.2.3 На вход осциллографа подать напряжение с конденсатора.

2.2.4 Исследовать колебательный разряд конденсатора, срисовать в масштабе осциллограмму напряжения $u_C(t)$.

2.2.5 Срисовать осциллограммы тока $i(t)$, $u_L(t)$ при колебательном разряде конденсатора.

2.2.6 Добиться критического режима в цепи, меняя сопротивление R . Записать величину полученного сопротивления $R_{КР(ЭКС)}$. Учесть сопротивление катушки R_K . Зарисовать полученную осциллограмму напряжения $u_C(t)$.

2.2.7 Увеличить сопротивление цепи R в 2 раза по сравнению с критическим. Зарисовать осциллограммы тока $i(t)$ и напряжений $u_C(t)$, $u_L(t)$ при апериодическом разряде конденсатора.

2.3 Оформление и анализ результатов работы

2.3.1 Рассчитать коэффициент затухания $\alpha_{(расч)}$ и частоту собственных колебаний $\omega_{св(расч)}$ по заданным значениям $R_{КОИТ} = R + R_K$, L , C (пункт 2.2.2).

2.3.2 По полученному изображению кривой напряжения $u_C(t)$ (пункт 2.2.4) рассчитать экспериментальные значения $\alpha_{(эксп)}$ и $\omega_{св(эксп)}$.

2.3.3 Рассчитать критическое сопротивление $R_{КР(РАСЧ)}$ согласно варианту.

2.3.4 Сделать выводы по проделанной работе: сравнить расчётные значения α , $\omega_{св}$, $R_{КР}$ с экспериментальными, проанализировать влияние величины сопротивления $R_{КОИТ}$ на характер разряда конденсатора.

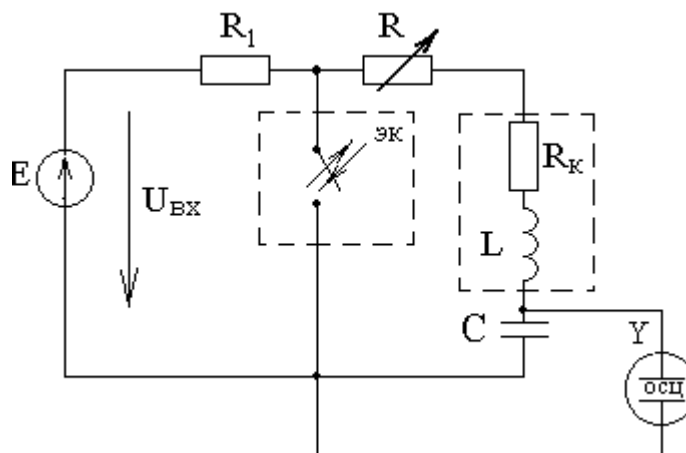


Рисунок 2.1 - Экспериментальная схема цепи RLC

Таблица 2.1-Параметры цепи RLC

№ варианта	R, Ом	L, мГн	C, мкФ
1	1	15	2
2	1	10	3
3	1	20	2
4	1	10	4
5	1	20	3

2.4 Методические указания

Коэффициент затухания $\alpha_{(расч)}$, частота собственных (свободных) колебаний $\omega_{св(расч)}$ и критическое сопротивление $R_{кр(расч)}$ определяется по формулам:

$$\alpha(расч) = \frac{R_{конт}}{2L}; \quad \omega_{св(расч)} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R_{конт}}{2L}\right)^2}; \quad R_{кр(расч)} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Экспериментальные значения $\alpha_{(эксп.)}$ и $\omega_{св(эксп.)}$ определяются по полученной кривой напряжения $u_c(t)$.

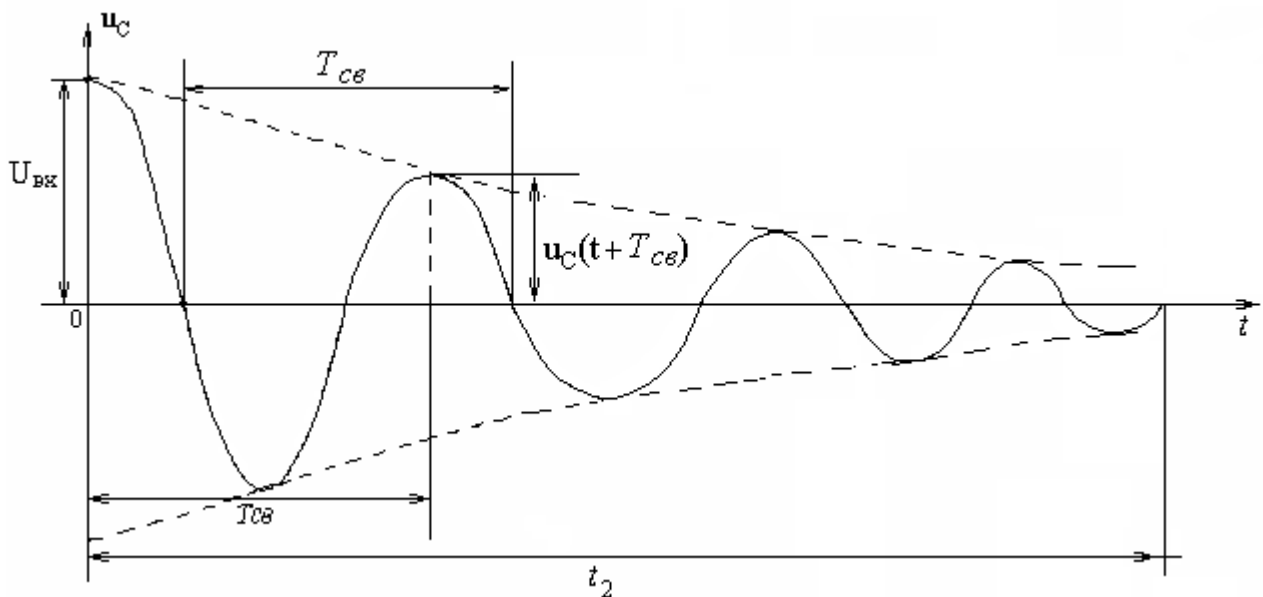


Рисунок 2.2 – Зависимость $U_{c(t)}$ при периодическом разряде конденсатора

Частоту свободных колебаний $\omega_{св(экс)}$ можно рассчитать по формуле:

$$\omega_{св} = 2\pi f_{св} = \frac{2\pi}{T_{св}},$$

где $T_{св}$ определяется по осциллограмме, масштаб по оси времени находится так же, как и в лабораторной работе № 1;

t_2 - время, в течение которого ЭК замкнут.

Экспериментальное значение $\alpha_{(эксп)}$ рассчитывается по логарифмическому декременту колебания

$$\alpha_{(эксп.)} = \frac{1}{T_{св}} \ln \frac{u_c(t)}{u_c(t + T_{св})};$$

$u_c(t)$ удобно взять для момента времени $t = 0$, где $u_c(0) = U_{bx}$.

3 Лабораторная работа № 3. Исследование пассивных фильтров

Цель работы: исследовать частотные характеристики коэффициента затухания (а) и коэффициента фазы (b) для простейших низкочастотных (ФНЧ) и высокочастотных (ФВЧ) фильтров.

3.1 Подготовка к работе

Повторить разделы курса ТОЭ «Четырехполюсники» и «Фильтры».

Ответить на следующие вопросы:

- 1) Какие типы фильтров вы знаете?
- 2) Дайте понятия низкочастотного, высокочастотного, полосного и заграждающего фильтров.
- 3) Дайте определение вторичных параметров фильтров. В каких единицах они измеряются?
- 4) Что такое область пропускания и область затухания идеального фильтра?
- 5) Что такое согласованный режим работы фильтра?
- 6) Привести П-образную и Т-образную схемы ФНЧ.
- 7) Привести П-образную и Т-образную схемы ФВЧ.
- 8) Привести графики зависимостей для $a(f)$ и $b(f)$ ФНЧ.
- 9) Привести графики зависимостей для $a(f)$ и $b(f)$ ФВЧ.
- 10) Привести расчётные формулы $f_{ср}$ и ρ для ФНЧ.
- 11) Привести расчётные формулы $f_{ср}$ и ρ для ФВЧ.
- 12) Выбрать согласно варианту схему и параметры фильтра (таблица 3.1).
- 13) Рассчитать $f_{ср}$ и ρ согласно варианту (таблица 3.1). Результаты занести в таблицу (3.2).

3.2 Порядок выполнения работы

3.2.1 Собрать цепь (рисунок 3.1), включив в неё исследуемый фильтр согласно заданному варианту (таблица 3.1).

Таблица 3.1

№ варианта	Тип Фильтра	Схема фильтра	U_1 (В)	L(мГн)	C(мкФ)
1	ФНЧ	Т-схема	5	80	0,5
2	ФВЧ	Т-схема	4	70	0,4
3	ФНЧ	П-схема	3	60	0,6
4	ФВЧ	П-схема	4	50	0,7
5	ФНЧ	Т-схема	5	40	0,3

3.2.2 Установить значения U_1 , L и C , $R_H = \rho$ согласно варианту (таблица 3.1).

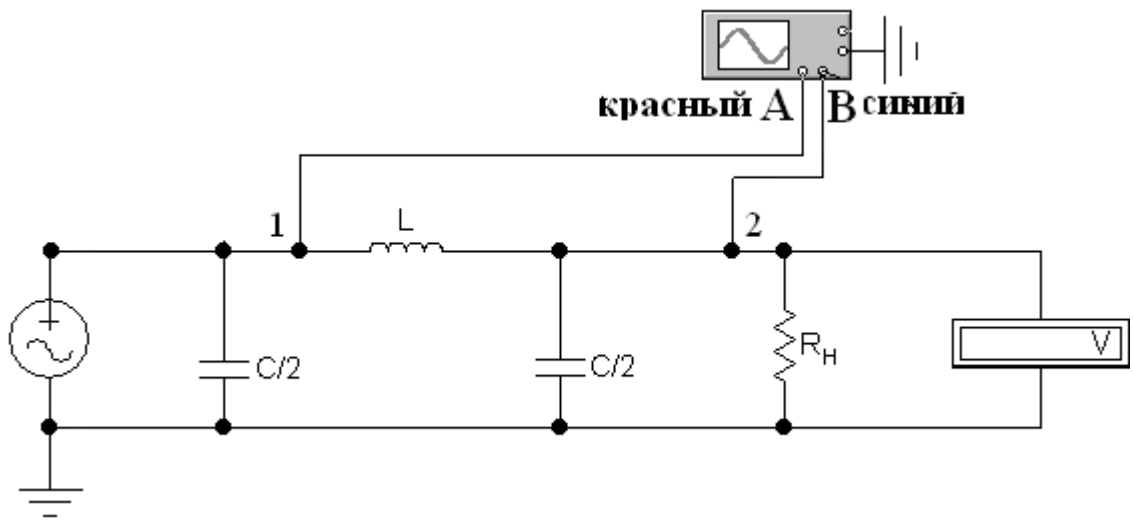
3.2.3 Изменяя частоту генератора f , умножая на соответствующий коэффициент частоту среза (12 значений), используя таблицу 3.3 для ФНЧ или 3.4 для ФВЧ, измерить напряжения U_2 на выходе фильтра и временной сдвиг по фазе $T_2 - T_1$ между напряжениями на выходе $u_2(t)$ и входе $u_1(t)$. Напряжение на входе фильтра U_1 поддерживать постоянным. Результаты измерений занести в таблицу 3.2.

Таблица 3.2

$f_{cp} =$; $R_H =$; $U_1 =$; $L =$; $C =$;				
f , Гц	U_2	$T_2 - T_1$	a , Нп	b^0
f_1				
·				
·				
·				
·				
f_{12}				

Фильтры низкочастотные

П-образный фильтр



Т-образный фильтр

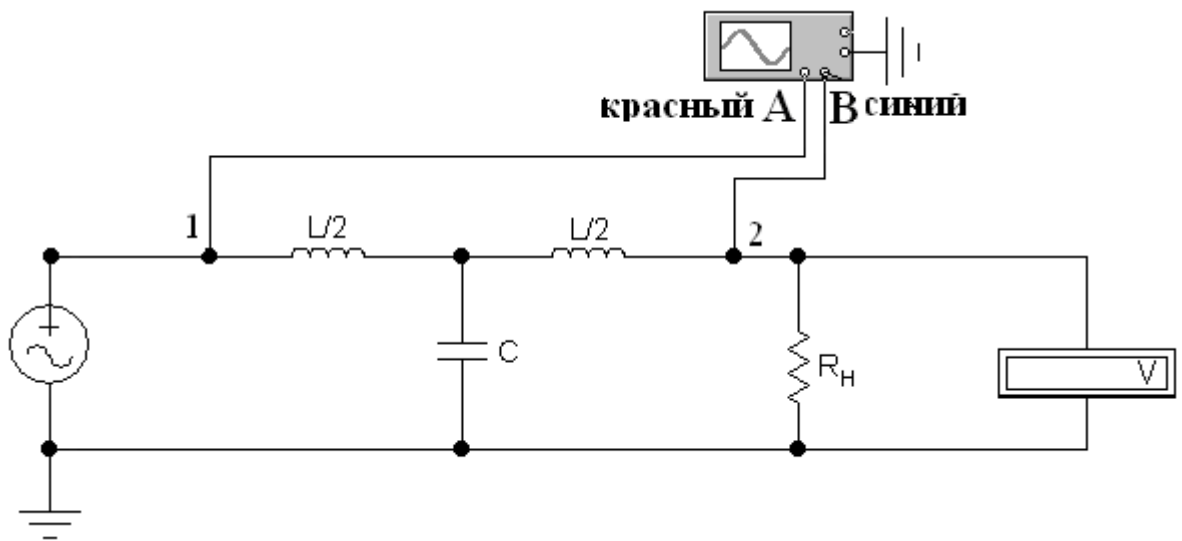
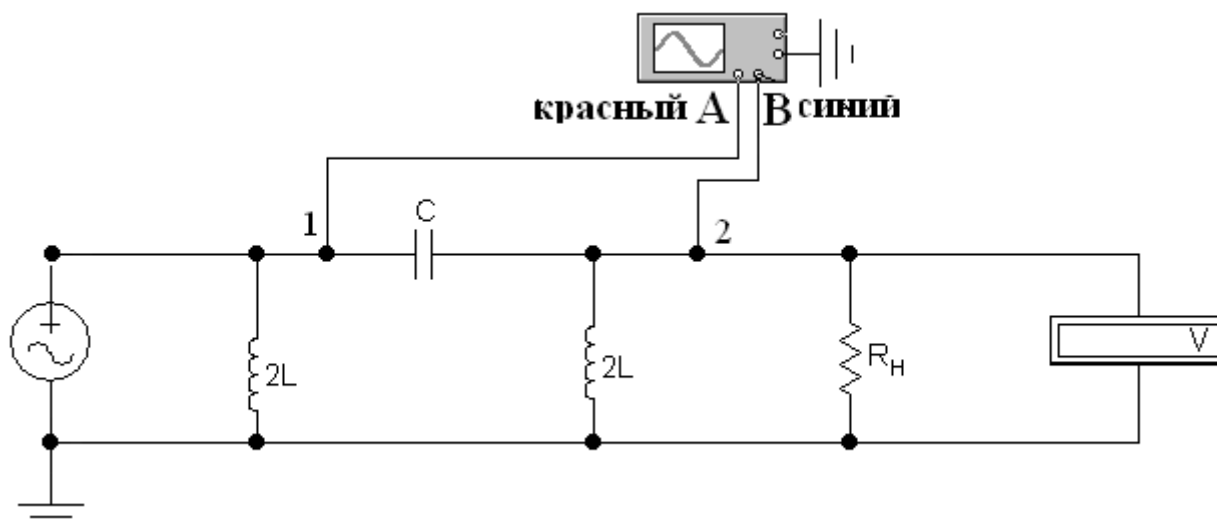


Рисунок 3.1

Фильтры высокочастотные

П-образный фильтр



Т-образный фильтр

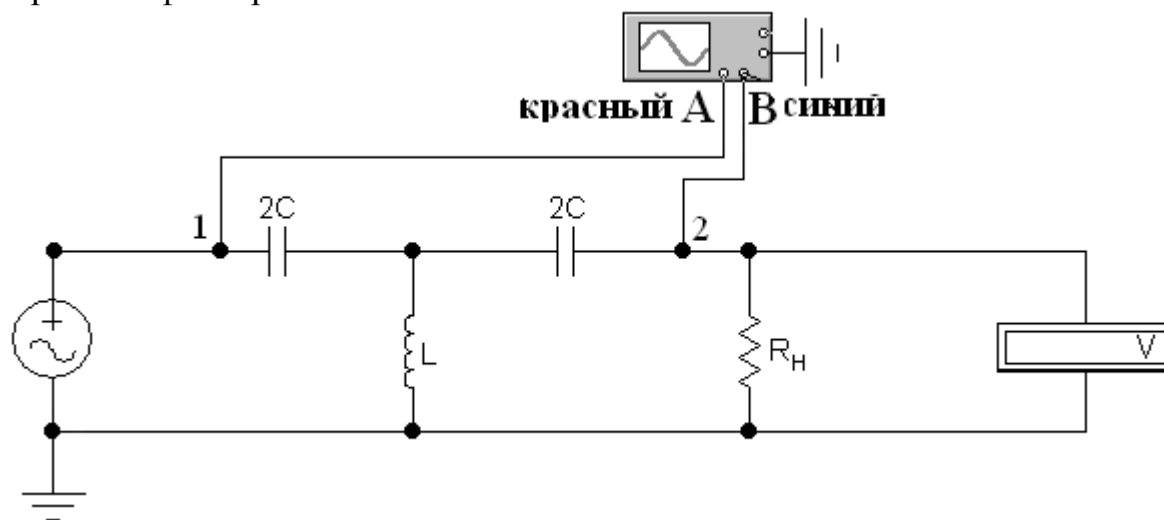


Рисунок 3.2

3.3 Обработка результатов экспериментов

3.3.1 Рассчитать коэффициент затухания $a(f)$ и коэффициент фазы $b(f)$, занести в таблицу 3.2.

3.3.2 Построить экспериментальный график $a(f)$ по данным таблицы 3.2, совместив его с теоретическим графиком $a(f)$ (таблицы 3.3 или 3.4).

3.3.3 Построить экспериментальный график $b(f)$ по данным таблицы 3.2, совместив его с теоретическим графиком $b(f)$ (таблицы 3.3 или 3.4).

3.3.4 Сделать выводы о проделанной работе: сравнить теоретические графики $a(f)$ и $b(f)$ с экспериментальными и объяснить их различие, проанализировать зависимость $a(f)$ и $b(f)$ в полосе пропускания и в полосе задерживания.

Таблица 3.3

ФНЧ	f/f_0	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,5	2,0	4,0
	а, Нп	0	0	0	0	0	0	0	0,90	1,26	1,94	2,74	4,16
	+в, град	23	47	60	74	90	106	180	180	180	180	180	180

Таблица 3.4

ФВЧ	f/f_0	0,25	0,5	0,67	0,83	0,9	1	1,25	1,43	1,67	2	2,5	5
	а, Нп	4,1	2,74	1,94	1,26	0,9	0	0	0	0	0	0	0
	-в, град	180	180	180	180	180	180	106	90	74	60	47	23

3.4 Методические указания

3.4.1 При согласовании фильтра с нагрузкой напряжения входа U_1 и выхода U_2 связаны соотношением:

$$\frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} = e^g = e^a e^{jb}.$$

Коэффициент затухания определяется по формуле:

$$a = \ln \frac{U_1}{U_2},$$

а коэффициент фазы $b = \psi_1 - \psi_2$, где ψ_1 и ψ_2 – начальные фазы соответственно входного и выходного напряжений.

3.4.2 Частота среза f_{cp} для ФНЧ определяется по формуле $f_{cp} = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}}$, а для ФВЧ - $f_{cp} = \frac{1}{4\pi\sqrt{LC}}$. Сопротивление нагрузки и сопротивление генератора

принимается равным характеристическому $R_H = \rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$.

3.4.3 Коэффициент фазы определяется через временной сдвиг по фазе $T_2 - T_1$ между напряжениями на выходе $u_2(t)$ и входе $u_1(t)$ по формуле:

$$b = -(T_2 - T_1) \cdot 360^\circ \cdot f.$$

3.4.4 Измерить начальные фазы напряжений можно с помощью осциллографа (рисунок 3.3). Для измерения начальной фазы напряжения $u_1(t)$ канал А осциллографа подключают к точке 1 (красят этот провод в красный цвет). Для измерения начальной фазы напряжения $u_2(t)$ на выходе канал В осциллографа подключают к точке 2 (красят этот провод в синий цвет). Выставив курсор 1 на ноль напряжения на входе $u_1(t)$, а курсор 2 на ноль тока напряжения на выходе $u_2(t)$, можно измерить временной сдвиг между напряжениями $u_2(t)$ и $u_1(t)$ непосредственно по таблю T_2-T_1 .

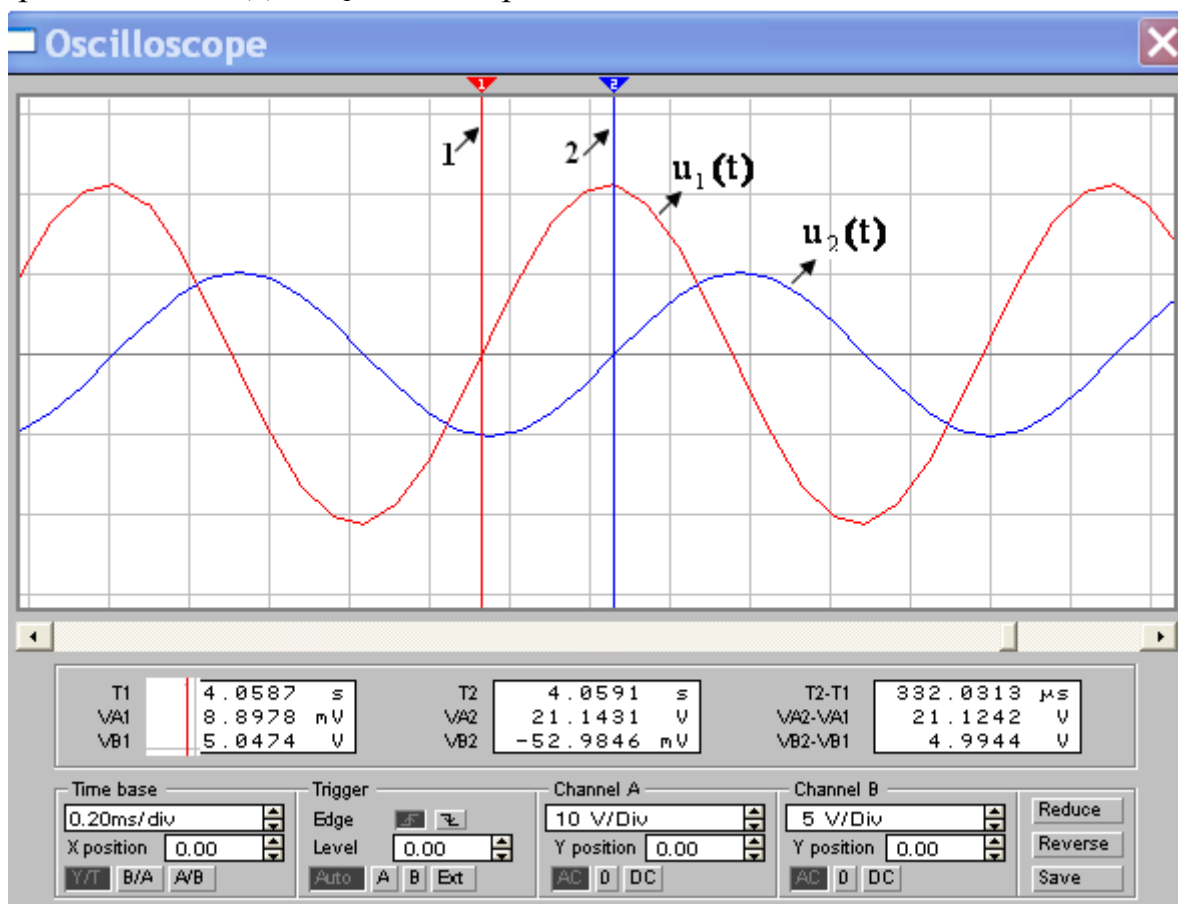


Рисунок 3.3

4 Лабораторная работа № 4. Исследование длинной линии в в режимах холостого хода, короткого замыкания, при согласованной и несогласованной нагрузках

Цель работы: получение навыков исследования различных режимов в длинных линиях путем компьютерного моделирования.

4.1 Подготовка к работе

Повторить раздел «Установившиеся режимы в цепях с распределенными параметрами».

Ответить на следующие вопросы:

- 1) Какие величины называются первичными параметрами линии?
- 2) Какая линия называется однородной?
- 3) Записать формулы для определения Z_0 Y_0 .
- 4) Какие величины называются вторичными параметрами линии?
- 5) Записать выражения, определяющие коэффициент распространения γ и волновое сопротивление Z_B .
- 6) Записать уравнения линии с гиперболическими функциями.
- 7) Как рассчитывается входное сопротивление линии?
- 8) Какая нагрузка называется согласованной?
- 9) Как рассчитать мощности в начале линии P_1 , в конце линии P_2 , КПД?
- 10) Рассчитать R_1 , L_1 , C_2 , R_2 , Z_B согласно заданному варианту.

Для исследования различных режимов в длинной линии путем компьютерного моделирования линия рассматривается как симметричный четырехполюсник, представленный симметричной Т-образной схемой замещения (рисунок 4.1).

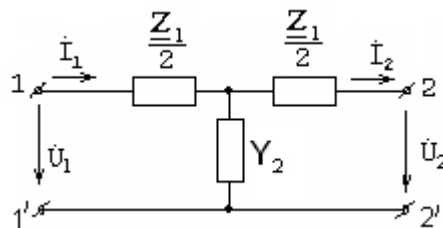


Рисунок 4.1 - Схема замещения линии

$$Z_1 = Z_0 l k_1 = (R_0 + j\omega L_0) l k_1 = R_1 + j\omega L_1, \quad (4.1)$$

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= R_0 l |k_1| \\ L_1 &= L_0 l |k_1| \end{aligned} \right\}, \quad (4.2)$$

$$Y_2 = Y_0 l k_2 = (G_0 + j\omega C_0) l k_2 = G_2 + j\omega C_2, \quad (4.3)$$

$$\left. \begin{aligned} G_2 &= G_0 l |k_2|; R_2 = \frac{1}{G_2} \\ C_2 &= C_0 l |k_2|. \end{aligned} \right\}, \quad (4.4)$$

где R_0, L_0, G_0, C_0 - первичные параметры линии

l - длина линии;

$k_1 = \frac{2(ch\gamma l - 1)}{\gamma sh\gamma l}$, $k_2 = \frac{sh\gamma l}{\gamma l}$ - комплексные коэффициенты, с достаточной для

практических расчётов точностью можно использовать модули $|k_1|, |k_2|, \gamma = \sqrt{(R_0 + j\omega L_0)(G_0 + j\omega C_0)}$ - коэффициент распространения.

4.2 Порядок выполнения работы

4.2.1 Выбрать напряжение в начале линии U_1 , параметры линии и нагрузки в соответствии с заданным вариантом (таблица 4.1).

Таблица 4.1-Варианты задания

вариант	U_1 , кВ	l , км	$ k_1 $	$ k_2 $	$R_0, \frac{Ом}{км}$	$L_0 \cdot 10^{-3}, \frac{Гн}{км}$	$G_0 \cdot 10^{-6}, \frac{См}{км}$	$C_0 \cdot 10^{-9}, \frac{Ф}{км}$	Z_H , Ом
1	400	700	1,043	0,927	0,07	1,0	0,2	9,0	450
2	600	800	1,056	0,899	0,09	1,2	0,08	8,3	400
3	110	1000	1,11	0,815	0,1	1,3	0,3	9,5	500
4	220	900	1,089	0,845	0,08	1,4	0,06	8,8	470
5	330	1100	1,16	0,753	0,06	1,35	0,1	10	550

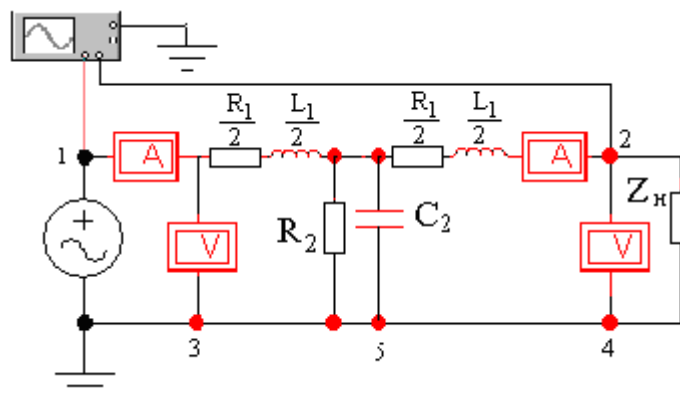


Рисунок 4.2 - Экспериментальная схема

4.2.2 Собрать электрическую схему (рисунок 4.2).

4.2.3 Установить на генераторе амплитудное значение напряжения в начале линии $U_{m1} = \sqrt{2}U_1$, частоту $f = 50 \text{ Гц}$ и рассчитанные параметры четырехполюсника R_1, L_1, R_2, C_2 .

4.2.4 Установить сопротивление приемника Z_H согласно заданному варианту.

Измерить действующее значение напряжения в конце линии U_2 , действующие значения токов в начале линии I_1 и в конце линии I_2 . Измерить начальные фазы напряжения в конце линии ψ_{U_2} и токов в начале и в конце линии: ψ_{I_1}, ψ_{I_2} .

Результаты записать в таблицу 4.2

4.2.5 В режиме холостого хода в конце линии измерить действующее значение напряжения в конце линии U_2 , действующие значения токов в начале линии I_1 , в конце линии I_2 , начальные фазы напряжения в конце линии ψ_{U_2} и тока в начале линии ψ_{I_1} . Результаты записать в таблицу 4.2.

4.2.6 В режиме короткого замыкания в конце линии измерить действующее значение напряжения U_2 , действующие значения токов в начале линии I_1 , в конце линии I_2 , начальные фазы токов в начале ψ_{I_1} и в конце линии ψ_{I_2} . Результаты записать в таблицу 4.2.

4.2.7 В режиме согласованной нагрузки $Z_H = Z_B$ измерить действующее значение напряжения U_2 , действующие значения токов в начале линии I_1 , в конце линии I_2 , начальные фазы напряжения в конце линии ψ_{U_2} и начальные фазы токов в начале ψ_{I_1} и в конце линии ψ_{I_2} . Результаты записать в таблицу 4.2.

4.3 Методические указания

Измерить начальные фазы напряжения и токов можно с помощью осциллографа.

При измерении начальных фаз уменьшить амплитудное значение U_{m1} в 10^3 раз.

Для измерения начальных фаз напряжений канал А осциллографа подключают к точке 1, а канал В - к точке 2. Выставив курсор 1 на ноль напряжения в начале линии U_1 , а курсор 2 на ноль напряжения в конце линии U_2 , можно измерить временной сдвиг между напряжениями U_1 и U_2 непосредственно по табло T_2-T_1 . Фазовый сдвиг вычисляется по формуле:

$$\psi_{U_1} - \psi_{U_2} = 360^\circ (T_2 - T_1) \times f,$$

если принять, что $\psi_{U_1} = 0$, то $\psi_{U_2} = -360^\circ (T_2 - T_1) \times f$.

Для измерения начальных фаз токов применяется способ преобразования тока в потенциал, который заключается во включении в цепь измеряемого тока резистора с небольшим сопротивлением.

Для измерения начальной фазы тока i_1 между точками 6 и 3 включается сопротивление $R = 1 \text{ Ом}$, канал В осциллографа подключается к точке 3. Выставив курсор 1 на ноль напряжения U_1 , а курсор 2 на ноль тока i_1 , измеряют временной сдвиг между током i_1 и напряжением U_1 на табло T_2-T_1 . Начальную фазу тока ψ_{i_1} вычисляют по формуле:

$$\psi_{i_1} = -360^\circ (T_2 - T_1) \times f.$$

Для измерения начальной фазы тока в конце линии i_2 , между точками 5 и 4, включается сопротивление $R = 1 \text{ Ом}$, канал В осциллографа подключается к

точке 4. Выставив курсор 1 на ноль напряжения U_1 , а курсор 2 на ноль тока i_2 , измеряют временной сдвиг между напряжением U_1 и током i_2 на табло T_2-T_1 . Начальную фазу тока i_2 вычисляют по формуле:

$$\psi_{i_2} = -360^\circ (T_2 - T_1) \times f .$$

4.4 Оформление результатов работы

4.4.1 Рассчитать начальные фазы напряжения ψ_{U_2} и токов ψ_{i_1} , ψ_{i_2} . Результаты записать в таблицу 4.2.

4.4.2 Записать комплексы напряжений \dot{U}_1, \dot{U}_2 и токов \dot{I}_1, \dot{I}_2 для всех исследуемых режимов.

4.4.3 По экспериментальным значениям рассчитать входное сопротивление линии Z_{1BX} , активные мощности P_1 , P_2 и КПД η для всех исследуемых режимов. Результаты записать в таблицу 4.2.

4.4.4 Сравнить полученные результаты. Сделать выводы по результатам работы.

Таблица 4.2 - Экспериментальные данные

Режим работы	U_1 , кВ	U_2 , кВ	T_2-T_1 с	ψ_{U_2} , град	I_1 , А	T_2-T_1 с	ψ_{i_1} , град	I_2 , А	T_2-T_1 с	ψ_{i_2} , град	Z_{1BX} , Ом	P_1 кВт	P_2 кВт	η , %
Нагрузочный режим; $Z_H=$														
Холостой ход														
Короткое замыкание														
Согласованная нагрузка $Z_H= Z_B=$														

5 Лабораторная работа № 5. Исследование электрической цепи постоянного тока с нелинейными элементами

Цель работы: получение навыков экспериментального исследования цепей постоянного тока с нелинейными элементами.

5.1 Подготовка к работе

Повторить раздел «Нелинейные электрические цепи постоянного тока».

Ответить на следующие вопросы:

1) Какие нелинейные элементы называются симметричными и несимметричными? Изобразить их вольт - амперные характеристики.

2) В чем различие между статическим и дифференциальным сопротивлениями нелинейных элементов?

3) Нарисовать схему для снятия вольт - амперной характеристики нелинейного элемента при питании цепи от источника постоянного напряжения, которое может плавно регулироваться. Предусмотреть в схеме необходимые приборы.

4) Показать графический расчёт цепи с одним источником ЭДС и нелинейными сопротивлениями, соединенными последовательно.

5) Показать графический расчёт цепи с нелинейными сопротивлениями, соединенными параллельно.

6) Показать графический расчёт цепи со смешанным соединением нелинейных сопротивлений.

7) Показать графический расчёт цепей с нелинейными элементами методом двух узлов.

5.2 Порядок выполнения работы

5.2.1 Снять вольт - амперные характеристики трех нелинейных элементов (по указанию преподавателя).

5.2.2 Собрать цепь с последовательным соединением двух нелинейных элементов. Предусмотреть включение приборов для измерения тока в цепи и напряжений на отдельных элементах и на зажимах источника. Установить на входе напряжение $15 \div 20$ В и записать показания всех измерительных приборов.

5.2.3 Собрать цепь с параллельным соединением двух нелинейных элементов. Предусмотреть включение приборов для измерения общего тока и токов в параллельных ветвях, а также напряжения на зажимах источника. Записать показания всех приборов при напряжении питания $15 \div 20$ В.

5.2.4 Собрать схему (рисунок 5.1). Записать показания всех приборов при напряжении на входе порядка $15 \div 20$ В.

5.2.5 Собрать схему с двумя источниками ЭДС (рисунок 5.2). Измерить ЭДС источников, напряжение на каждом элементе и токи в ветвях.

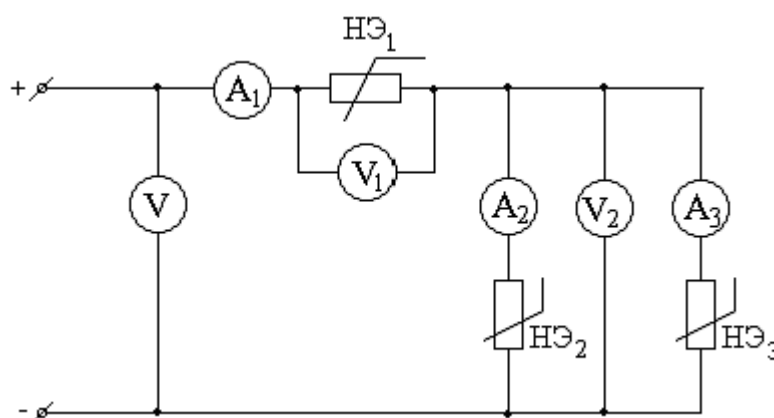


Рисунок 5.1 - Схема смешанного соединения НЭ

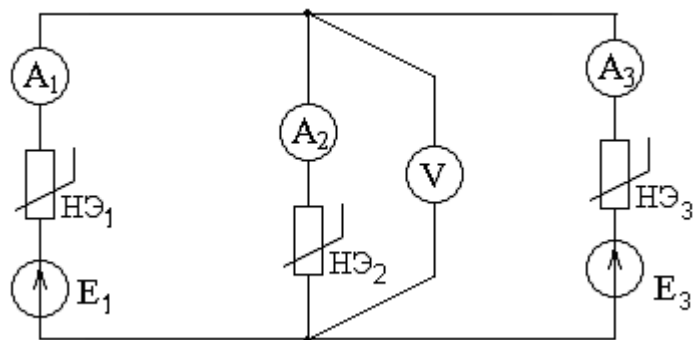


Рисунок 5.2 - Схема с двумя источниками ЭДС

5.3 Оформление и анализ результатов работы

5.3.1 Построить вольт-амперные характеристики трех нелинейных элементов.

5.3.2 Произвести графический расчет схемы п. 5.2.2 и сравнить расчётные значения с экспериментальными данными.

5.3.3 Произвести графический расчет схемы п. 5.2.3 и сравнить расчётные значения с экспериментальными данными.

5.3.4 Произвести графический расчет схемы п. 5.2.4 и сравнить результаты расчёта с экспериментальными данными.

5.3.5 Произвести графический расчет схемы п. 5.2.5 и сравнить результаты расчета с экспериментальными данными.

5.3.6 Сделать выводы о проделанной работе.

6 Лабораторная работа №6. Исследование плоскопараллельного электростатического поля двухпроводной линии

Цель работы: получение навыков экспериментального исследования плоскопараллельного электростатического поля двухпроводной линии с использованием компьютерного моделирования.

6.1 Подготовка к работе

Изучить следующие разделы курса ТОЭ: поле бесконечно длинной равномерно заряженной оси, поле параллельных разноименно заряженных осей, поле двухпроводной линии. Ознакомиться с описанием интерфейса программы «Теория поля» и методическими указаниями к расчёту и выполнению лабораторной работы.

Выполнить следующее:

1) Записать формулы для расчета напряженности и потенциала электростатического поля бесконечно длинной равномерно заряженной оси.

2) Записать формулы для расчета напряженности и потенциала электростатического поля двух параллельных бесконечно длинных разноименно заряженных осей.

3) Записать граничные условия на поверхности проводников.

4) В соответствии с вариантом задания (таблица 6.1) вычислить a , S_1, S_2 . Результаты расчета занести в таблицу 6.2.

5) Записать формулу для расчета емкости двухпроводной линии. В соответствии с вариантом задания (таблица 6.1) вычислить емкость двухпроводной линии. Результаты расчета занести в таблицу 6.2.

6) Записать формулы для расчета потенциалов на поверхности проводов φ_1, φ_2 . В соответствии с вариантом задания (таблица 6.1) вычислить потенциалы на поверхности проводов φ_1, φ_2 . Результаты расчета занести в таблицу 6.2.

7) Записать формулы для расчета напряженностей электростатического поля на поверхности проводников в точках, М, N, L, К. Вычислить, в соответствии с вариантом задания (таблица 6.1), напряженности электростатического поля в этих точках. Результаты расчетов занести в таблицу 6.2.

8) Записать формулы для расчета плотности свободного электрического заряда на поверхности проводника. В соответствии с вариантом задания (таблица 6.1) вычислить плотности свободного электрического заряда на поверхности проводников в точках М, N, L, К. Результаты расчетов занести в таблицу 6.2.

9) Дать определение плоскопараллельного поля.

10) Дать определение эквипотенциальным и силовым линиям. Качественно нарисовать картину электростатического поля двухпроводной линии.

Таблица 6.1 - Варианты задания к лабораторной работе

№ вар	Радиусы проводов		Расстояние между проводами, d мм	Напряжение между проводами U, В
	R ₁ , мм	R ₂ , мм		
1	10	5	60	100
2	10	15	80	120
3	15	20	100	110
4	20	10	120	160
5	5	10	70	90
6	8	16	90	220

6.2 Порядок выполнения работы

6.2.1 Запустить программу «Теория поля», щелкнув левой кнопкой мыши по ярлыку на рабочем столе компьютера (рисунок 6.1). Откроется главное окно программы (рисунок 6.2).

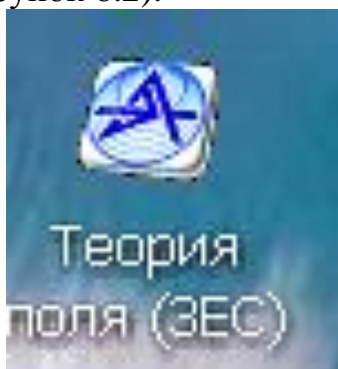


Рисунок 6.1

6.2.2 Установить радиусы проводов R_1, R_2 и d согласно заданному варианту

6.2.3 Построить двухпроводную линию в рабочей области, щелкнув левой кнопкой мыши по кнопке «Построить». На экране появится двухпроводная линия (рисунок 6.3).

6.2.4 Определить геометрические параметры линии: a – расстояние между электрической осью и плоскостью нулевого потенциала, S_1, S_2 – расстояния между геометрическими осями и плоскостью нулевого потенциала. Занести полученные значения « a, S_1, S_2 » в таблицу 6.2

6.2.5 Установить напряжение между проводами, согласно заданному варианту, с помощью источника напряжения (рисунок 6.2, описание интерфейса программы и методические указания).

6.2.6 Получить изображение электрических осей, щелкнув левой кнопкой мыши по кнопке «Оси».

6.2.7 Измерить емкость двухпроводной линии на единицу длины. Полученное значение емкости записать в таблицу 6.2.

6.2.8 Измерить напряженность электростатического поля на поверхности проводов в заданных точках: M, N, L, K . Результаты измерений занести в таблицу 6.2.

6.2.9 Построить эквипотенциальные линии поля двухпроводной линии с шагом $\Delta\varphi = 10В \div 20В$ (по указанию преподавателя).

6.2.10 Построить силовые линии электростатического поля двухпроводной линии.

6.2.11 Полученную картину электростатического поля двухпроводной линии сохранить, щелкнув левой кнопкой мыши по кнопке «Экспорт в *bmp».

6.3 Оформление и анализ результатов работы

6.3.1 Выполнить теоретический расчет геометрических параметров двухпроводной линии «а, S_1 , S_2 », результаты расчетов занести в таблицу 4.2, столбец «Теоретический расчет». Определить «а, S_1 , S_2 » на ЭВМ, результаты расчетов занести в таблицу 6.2, столбец «Эксперимент». Сравнить полученные результаты.

6.3.2 Выполнить теоретический расчет емкости двухпроводной линии и потенциалов на поверхности проводов Φ_1 , Φ_2 , результаты расчетов занести в таблицу 6.2, столбец «Теоретический расчет». Измерить емкость двухпроводной линии и потенциалы на поверхности проводов Φ_1 , Φ_2 , результаты расчетов занести в таблицу 6.2, столбец «Эксперимент». Сравнить полученные результаты.

6.3.3 Выполнить теоретический расчет напряженностей на поверхности проводов в заданных точках: М, N, L, К. Результаты расчетов занести в таблицу 6.2, столбец «Теоретический расчет». Измерить напряженности на поверхности проводов заданных точках: М, N, L, К. Результаты расчетов занести в таблицу 6.2, столбец «Эксперимент». Сравнить полученные результаты.

6.3.4 Выполнить теоретический расчет плотностей поверхностного заряда в заданных точках: М, N, L, К. Результаты расчетов занести в таблицу 6.2, столбец «Теоретический расчет». По найденным экспериментально напряженностям, рассчитать плотности поверхностного заряда. Результаты расчетов занести в таблицу 6.2, столбец «Эксперимент». Сравнить полученные результаты.

6.3.5 Сохранить и распечатать полученную экспериментально картину поля.

6.3.6 На полученном рисунке построить вручную силовые линии (по указанию преподавателя).

6.3.7 Сделать выводы.

Таблица 6.2 - Результаты лабораторной работы

Геометр. параметры линии; потенциалы на поверхности проводов; емкость С, напряженность Е, поверх. плотность заряда σ	Теоретический расчет	Эксперимент
а, м		
S_1 , м		
S_2 , м		

$\varphi_1, \text{В}$		
$\varphi_2, \text{В}$		
$C, \text{Ф/м}$		
$E_M, \text{В/м}$		
$E_N, \text{В/м}$		
$E_L, \text{В/м}$		
$E_K, \text{В/м}$		
$\sigma_M, \text{Кл/м}^2$		
$\sigma_N, \text{Кл/м}^2$		
$\sigma_L, \text{Кл/м}^2$		
$\sigma_K, \text{Кл/м}^2$		

6.4 Описание интерфейса программы «Теория поля»

Главное окно интерфейса программы (рисунок 6.2) содержит рабочую область и две боковые панели, на которых расположены измерительные приборы и управляющие кнопки. Рабочая область имеет координатную сетку, вид которой можно изменять кнопкой «Сет».

На левой боковой панели сверху расположено меню инструментов рисования, содержащее кнопки:



– кнопка для рисования точек в рабочей области;



– кнопка (ластик) для очистки рабочей области от ошибочно поставленных точек;



– кнопка для рисования отрезков, соединяющих точки;



–кнопка (ластик) для очистки рабочей области от ошибочно нарисованных отрезков;

Cls

–кнопка для очистки рабочей области от эквипотенциальных и силовых линий;



–кнопка для рисования силовых линий;



–кнопка для изменения вида сетки рабочей области;



– кнопка для рисования электрических осей.

На левой боковой панели также расположены:

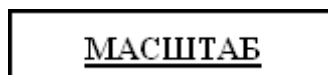


– прибор для измерения напряженности поля, прибор включается щелчком левой кнопки мыши по кнопке

$\frac{V}{m}$;



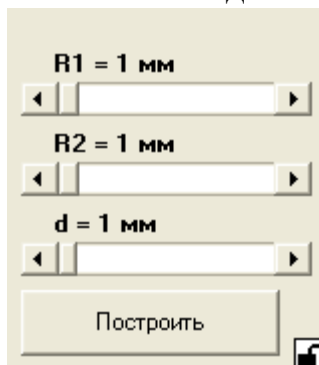
– кнопка для определения геометрических параметров двухпроводной линии;



– кнопка для открытия области, в которой расположены кнопки для изменения масштаба: «+» и «-».



На правой боковой панели сверху расположены рамка с тремя ползунками и кнопками справа и слева для установки радиусов проводов и расстояния между их центрами и кнопка «Построить» для построения в рабочей области двухпроводной линии с заданными параметрами.

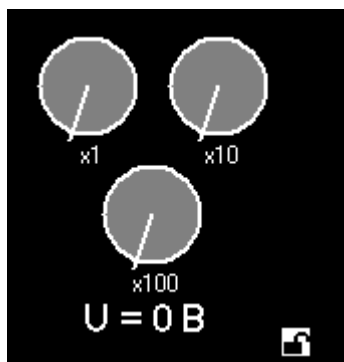


После построения двухпроводной линии внизу рабочей области появляется линейка, служащая для отображения установленного масштаба (рисунок 6.3).

На правой боковой панели также расположены:



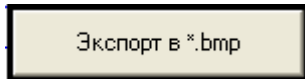
– вольтметр для измерения потенциалов в любой точке электростатического поля двухпроводной линии;



– источник напряжения с тремя переключателями для установки напряжения между проводами двухпроводной линии;



– прибор для измерения емкости двухпроводной линии; прибор включается щелчком левой кнопкой мыши по кнопке «F»;



– кнопка для сохранения картины поля двухпроводной линии;



– кнопка «замочек» для блокировки и разблокировки установленных параметров двухпроводной линии и напряжения.

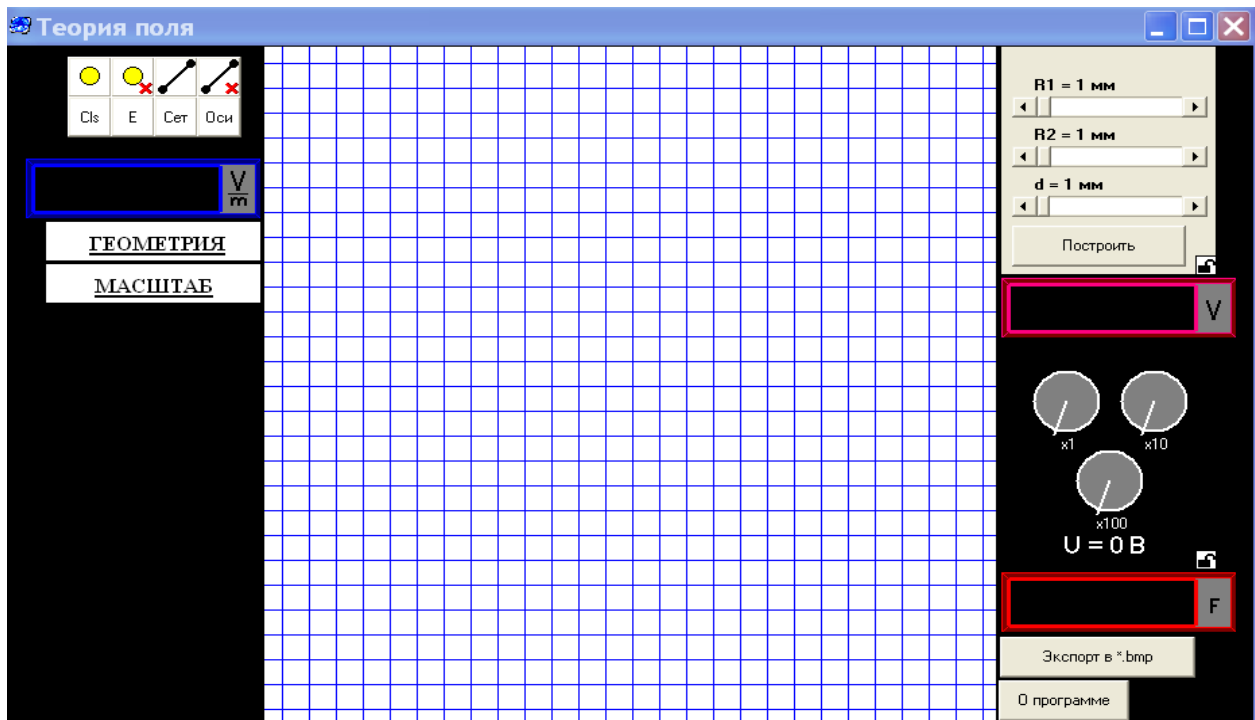


Рисунок 6.2 - Интерфейс программы

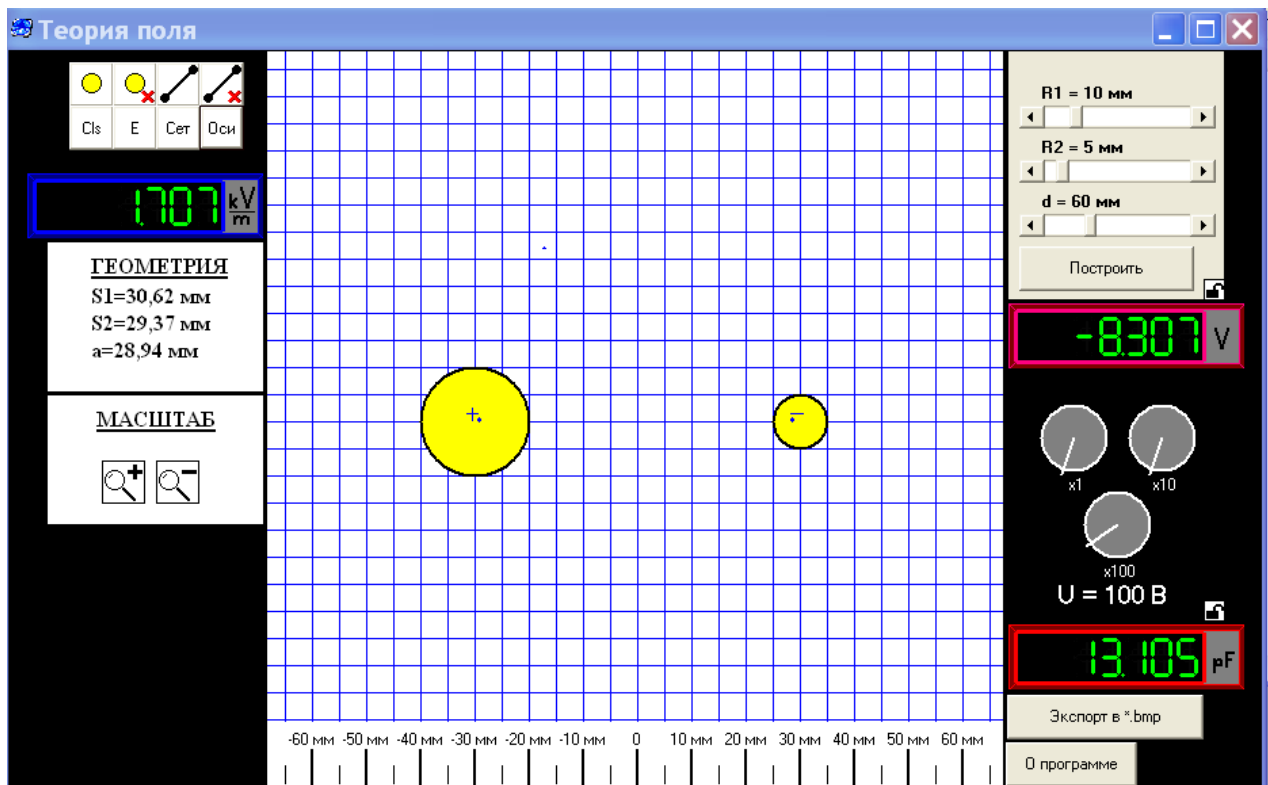


Рисунок 6.3 - Двухпроводная линия

6.4 Методические указания

Ознакомьтесь с описанием программы «Теория поля».

Для установки радиусов проводов R_1, R_2 и расстояния между проводами d применяются ползунки и кнопки справа и слева, позволяющие, соответственно, увеличивать или уменьшать R_1, R_2 и d . Чтобы предотвратить случайное изменение установленных параметров двухпроводной линии, нужно щелкнуть левой кнопкой мыши по кнопке «замочек». Для построения двухпроводной линии щелкнем по кнопке «Построить» (рисунок 6.3).

Для определения геометрических параметров линии щелкнем по кнопке «Геометрия», откроется область, в которой появятся значения a, S_1, S_2 .

Напряжение между проводами устанавливается с помощью источника напряжения с тремя переключателями. Для увеличения напряжения щелкнем левой кнопкой мыши на стрелку соответствующего переключателя источника, для уменьшения напряжения нужно щелкнуть правой кнопкой мыши.

Изображение электрических осей можно получить, щелкнув левой кнопкой мыши по кнопке «Оси» (рисунок 6.3), убрать электрические оси можно также, щелкнув левой кнопкой мыши по кнопке «Оси».

Емкость двухпроводной линии на единицу длины можно измерить с помощью соответствующего прибора, для этого нужно щелкнуть по кнопке «F» этого прибора левой кнопкой мыши (рисунок 6.3).

Напряженность в любой точке электрического поля двухпроводной линии можно измерить с помощью соответствующего прибора, для этого нужно включить прибор, щелкнув по кнопке « $\frac{V}{m}$ » левой кнопкой мыши, поставить курсор мышки в точку поля, где требуется измерить напряженность и щелкнуть по этой точке поля правой кнопкой мыши. На табло прибора появится значение напряженности (рисунок 6.3).

Для построения точек эквипотенциальной линии применяется вольтметр, с помощью которого можно измерять потенциалы точек электростатического поля двухпроводной линии. Чтобы нарисовать точку эквипотенциальной линии, щелкают левой кнопкой мыши по кнопке для рисования точек, расположенной вверху левой панели в меню инструментов рисования (см. описание программы), затем находят точку поля с заданным потенциалом, используя вольтметр, и щелкают левой кнопкой мыши по найденной точке поля, при этом на экране появляется точка красного цвета. Ошибочно нарисованные точки можно удалить с помощью кнопки (ластика), расположенной вверху левой панели в меню инструментов рисования.

Полученные точки эквипотенциальной линии можно соединить между собой отрезком. Для этого щелкают левой кнопкой мыши по кнопке для рисования отрезков, расположенной вверху левой панели в меню инструментов рисования, затем щелкают левой кнопкой мыши по двум соседним точкам с одинаковыми потенциалами, и они соединяются отрезком прямой. Ошибочно нарисованные отрезки можно удалить с помощью кнопки (ластика), расположенной вверху левой панели в меню инструментов рисования.

Для построения силовых линий щелкают левой кнопкой мыши по кнопке «E». На экране появляется диалоговое окно (рисунок 6.4), в котором выбирают число силовых линий и нажимают «ОК». Убрать силовые линии можно также, щелкнув левой кнопкой мыши по кнопке «E».

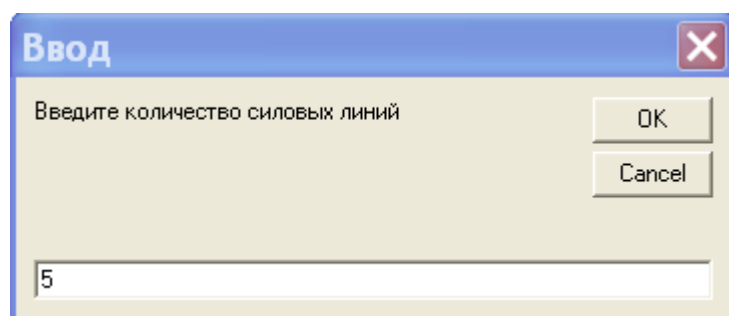


Рисунок 6.4

Полученную картину электростатического поля двухпроводной линии можно сохранить щелчком левой кнопкой мыши по кнопке «Экспорт в *bmp». Чтобы распечатать сохраненную картину поля, её удобнее всего открыть с помощью программы Paint.

Силовые линии можно построить вручную на распечатанном рисунке двухпроводной линии, где построены только эквипотенциальные линии. Одна из силовых линий – это прямая, соединяющая электрические оси. Все остальные силовые линии представляют собой дуги окружности, проходящие через электрические оси, с центрами, лежащими на линии нулевого потенциала, и определяются уравнением: $x^2 + (y - y_0)^2 = a^2 + y_0^2$, где y_0 – центр дуги окружности. Силовые линии перпендикулярны эквипотенциальным линиям и проводятся так, чтобы между каждой парой соседних линий заключалась равная часть общего потока вектора напряженности поля.

Полностью очистить экран от системы эквипотенциальных и силовых линий можно с помощью кнопки «Cls», щелкнув по ней левой кнопкой мыши.

Методические указания к теоретическому расчету.

Геометрические параметры двухпроводной линии a , S_1 , S_2 (рисунок 6.5) вычисляются по формулам:

$$S_1 = \frac{d^2 + R_1^2 - R_2^2}{2d}, \quad S_2 = \frac{d^2 + R_2^2 - R_1^2}{2d}, \quad a = \sqrt{S_1^2 - R_1^2} = \sqrt{S_2^2 - R_2^2},$$

где

$d = S_1 + S_2$ – расстояние между геометрическими осями проводов;

S_1 , S_2 – расстояние от геометрических осей проводов до плоскости нулевого потенциала;

R_1 , R_2 – радиусы проводов;

a – расстояние электрических осей от плоскости нулевого потенциала.

Емкость двухпроводной линии C определяется выражением:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{(S_1 + a)(S_2 + a)}{R_1 R_2}},$$

где

$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная;

$\epsilon = 1$ – относительная диэлектрическая проницаемость воздуха.

Потенциалы на поверхности проводов ϕ_1 , ϕ_2 рассчитываются по формулам:

$$\phi_1 = \frac{CU}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{S_1 + a}{R_1}, \quad \phi_2 = \frac{CU}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{R_2}{S_2 + a}.$$

Напряженности поля на поверхности проводов вычисляются по формулам (рисунок 6.5):

$$E_M = \frac{CU}{2\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{R_M} - \frac{1}{R_M + 2a} \right); \quad E_N = \frac{CU}{2\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{R_N} + \frac{1}{2a - R_N} \right);$$

$$E_L = \frac{CU}{2\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{2a - R_L} + \frac{1}{R_L} \right); E_K = \frac{CU}{2\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{R_K} - \frac{1}{R_K + 2a} \right),$$

где $R_M = S_1 - a + R_1$ – расстояние от положительной электрической оси до точки;

M, $R_N = R_1 - (S_1 - a)$ – расстояние от положительной электрической оси до точки;

N, $R_L = R_2 - (S_2 - a)$ – расстояние от положительной электрической оси до точки;

L, $R_K = S_2 - a + R_2$ – расстояние от положительной электрической оси до точки K.

Плотность поверхностного электрического заряда вычисляется по

$$\sigma_M = \epsilon_0 E_M, \sigma_N = \epsilon_0 E_N, \sigma_L = \epsilon_0 E_L, \sigma_K = \epsilon_0 E_K.$$

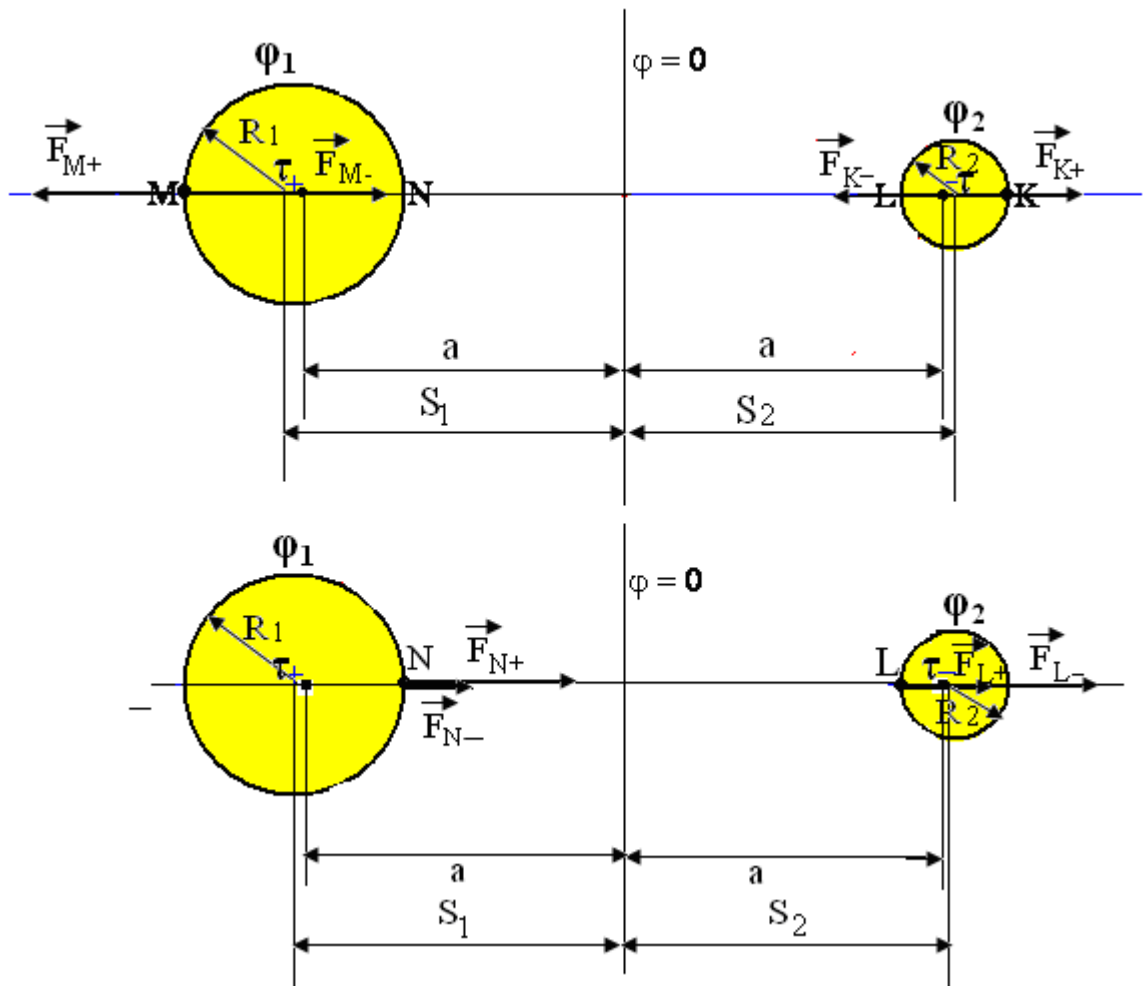


Рисунок 6.5 - К расчету напряженности поля

Список литературы

- 1 Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин. Теоретические основы электротехники. – Том 2. – СПб.: Питер, 2003.-576 с.
- 2 Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л., Теоретические основы электротехники. – Том 3. – СПб.: Питер, 2003.-377 с.
- 3 Атабеков Г.И. ТОЭ. Линейные и электрические цепи (7-е изд.). – М.: Лань, 2009. – 592 с.
- 4 Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники.-М.: Гардарики, 2007. – 638 с.
- 5 Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей.- М.: Энергоатомиздат, 1989. -528 с.
- 6 Денисенко В.И., Светашев Г.М.. ТОЭЗ. Конспект лекций. – Алматы: АИЭС, 2007.- 90 с.

Содержание

Введение	4
Порядок выполнения и правила оформления отчетов лабораторных работ.....	6
1 Лабораторная работа № 1. Переходные процессы в цепях первого порядка.....	7
2 Лабораторная работа № 2. Переходные процессы в цепи R-L-C.....	11
3 Лабораторная работа № 3. Исследование пассивных фильтров.....	14
4 Лабораторная работа № 4. Исследование длинной линии в режимах холостого хода, короткого замыкания, при согласованной и несогласованной нагрузках.....	19
5 Лабораторная работа № 5. Исследование электрической цепи постоянного тока с нелинейными элементами.....	22
6 Лабораторная работа №6. Исследование плоскопараллельного электростатического поля двухпроводной линии.....	25
Список литературы.....	36

Любовь Павловна Болдырева
Гульдана Кашкинбаевна Смагулова

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ.
ТЕОРИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ
Методические указания и задания по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности
5В081200 - Энергообеспечение сельского хозяйства

Редактор Н.М. Голева
Специалист по стандартизации Н.К. Молдабекова

Подписано в печать _____
Тираж 50 экз.
Объем 2,25 уч. - изд. л.

Формат 60x84 1/16
Бумага типографская №1
Заказ ____ . Цена 1125 тенге.

Копировально-множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013, Алматы, ул. Байтурсынова 126.